

XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines
CONIMERA
16-18 Octubre, 2019, San Isidro, Lima, Perú

Código del trabajo:IT-17

DISEÑO DE REDES DE TRANSPORTE Y ACCESO, MEDIANTE FIBRA MONOMODO Y ANTENAS SECTORIALES, PARA LA POBLACION DE CHOCLOCOCHA - HUANCAVELICA

Evins Cuellar Tito
Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Huancavelica
Pampas, Huancavelica, Perú
Email: etc884@hotmail.com

RESUMEN
El presente trabajo tiene como objetivo proponer una solución al problema de la ausencia de servicios de telecomunicaciones, con calidad de servicio y cobertura, en el poblado de Choclococha ubicado en Huancavelica. La propuesta consiste en enlazar dicha localidad con la red óptica regional a través del nodo óptico más próximo ubicado en el distrito de Pomacocha. Para ello, se realizó el diseño de planta externa consistente en el tendido de cable óptico empleando como medio de soporte las redes eléctricas de media tensión a lo largo del recorrido. El diseño parte con el levantamiento de información de campo para la georreferenciación de los postes existentes y de los nuevos requeridos y la definición de la ruta del tendido, empleando las aplicaciones Google Earth y Basecamp, entre el nodo destino en Choclococha y el nodo de Pomacocha. Se realizó el cálculo y determinación del tendido y ferretería a emplearse en base a la información de campo y datos técnicos del cable óptico. Además, se desarrolló un software interactivo en Matlab para el cálculo y verificación del presupuesto óptico de potencia tomando en cuenta estándares aplicables y datos técnicos de cables, accesorios y transceivers. Se incluyó, también, el cálculo del presupuesto de potencia y cobertura radioeléctrica en la localidad mediante el software LINKPlanner de Cambium Networks. Los resultados del diseño están basados en soluciones comerciales estandarizadas y cumplen con los objetivos planteados.

Palabras clave: Presupuesto óptico de potencia, red de transporte, antenas sectoriales, LINKPlanner, ADSS.

Nomenclatura

ADSS	All Dielectric Self Supported
AP	Access Point
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
PMP	Point To MultiPoint
MT	Media Tensión
RDNFO	Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
AP	Access Point

I. INTRODUCCIÓN

Las redes de fibra óptica se encuentran con un alto grado de penetración en muchas partes del mundo. Sin embargo, no ocurre lo mismo en localidades de baja densidad poblacional, economía de subsistencia o geografía accidentada. En la actualidad, el gobierno del Perú viene ejecutando el proyecto de las redes regionales de fibra óptica, las cuales se conectan a la RDNFO, troncal ya implementada que recorre todas las capitales regionales del Perú. Las redes regionales intentan cubrir a la mayor parte de ciudades y pueblos de cada región, pero la cobertura no es al 100%, hay localidades no consideradas que seguirán postergadas por muchos años [1]. Existen soluciones a esta problemática, como los enlaces satelitales que se emplean usualmente para estos casos, pero suelen ser costosos y propensos a latencia y baja calidad del servicio especialmente debido a condiciones climáticas como las lluvias. Su empleo se

suele limitar, por su alto costo, a instituciones y usuarios no domésticos.

En el presente trabajo se propone enlazar la localidad de Choclococha a la red óptica regional mediante una solución basada en fibra óptica ADSS como red de transporte e inalámbrica como red de acceso. Esta solución es similar a las empleadas en las redes regionales pero adaptadas a una realidad específica a fin de optimizarla en lo tecnológico y económico sin afectar sus prestaciones.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día las sociedades requieren, como ingrediente fundamental para su desarrollo, disponer de acceso a las TIC. Este hecho se ha convertido prácticamente en una necesidad fundamental de toda persona. El acceso a Internet es necesario pues a través de ella se abre un mundo de información y un mundo de oportunidades de alcance solo limitadas por la capacidad e interés de cada uno. Sin embargo, lamentablemente, la realidad en muchos pueblos del Perú dista bastante de ser la ideal o siquiera aproximarse a ella. Gran cantidad de localidades, generalmente las menos pobladas o aquellas poco accesibles por su agreste geografía, se encuentran en una situación de abandono o aislamiento tecnológico limitando seriamente sus posibilidades de desarrollo en todo nivel. Según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística e Informática y estudios del grupo GSMA, organización mundial que agrupa a operadores móviles, 65% de la población de las provincias del Perú no usan Internet. Además, a nivel de todo Perú, el 81% de la población de las zonas rurales no emplean Internet. También, indica que la situación es más crítica en la población adulta (edades de 25 a más años) y en los niveles socioeconómicos más bajos (C y D/E) [2-3].

El centro poblado de Choclococha está ubicada en el distrito de Pomacocha, provincia de Acobamba de la Región Huancavelica. Su municipio fue fundado el 10 de setiembre de 2014; está ubicada a una altitud de 3370msnm y abarca una extensión territorial de 106.34km^2. Las actividades económicas principales de la población de Choclococha son la agricultura y la ganadería. Cuenta con una población de 1323 habitantes al 2015 con unas 486 viviendas. Si bien en el distrito existe acceso a internet satelital, su costo es elevado; el plan más económico es de 512Kbps a S/ 950 Soles mensuales y con contención de 8 a 1. El alto costo mensual del servicio y su velocidad relativamente baja la convierte en inaccesibles para los habitantes que no disponen de los recursos económicos suficientes. Se aprecia, entonces, una problemática muy seria que discrimina el acceso a fuentes de información y todos los beneficios y potencialidades asociados a este tipo de herramientas tecnológicas.

En la actualidad, el mercado de las tecnologías de telecomunicaciones ópticas ofrece gran variedad de productos y soluciones a precios competitivos dada la gran oferta y demanda existentes. Por ello, es viable plantear soluciones alternativas, que no pasen por esperar al Estado, sino por aprovechar las redes regionales mediante la ejecución de proyectos de beneficio específico, y por ende de menor tiempo de ejecución e inversión, como el planteado en el presente trabajo.

III. PROPUESTA DE SOLUCION

En las secciones siguientes se describe el diseño de las redes de transporte y de acceso realizadas como parte de este trabajo. Dada su envergadura, para el caso de la Red de Transporte se consideran solo el diseño de la Planta Externa y el cálculo del presupuesto óptico de potencia. Para el caso de la red de acceso se considera el diseño de la cobertura inalámbrica en la localidad mediante el uso de antenas sectoriales.

A. Red de transporte

1) Planta Externa. Debido a la cercanía geográfica se ha considerado realizar el tendido de fibra óptica al centro poblado de Choclococha tomando como nodo alimentador al Nodo Pomacocha (12°52′27″S 74°31′54″O) ubicado en el distrito del mismo nombre de la provincia de Acobamba, a una altura promedio de 3150msnm. La red de transporte incluye el tendido de 2.81km de cable ADSS [4] de fibra óptica sobre redes de MT y en el derecho de la red vial (postes nuevos paralelos a la ruta). En la Fig. 1 se aprecia el poste 8 con las características de la estructura. En la Fig. 2 se muestra el recorrido del cable óptico. Consta de 23 postes: 18 postes de MT (indicados en color azul) y 5 postes nuevos (en color amarillo). El poste 1 se ubica en Choclococha y, el poste 23, en Pomacocha.

Enlace:	CHOCLOCOCHA - POMACOCHA
Código:	4VP02769
Tipo:	POSTE
Distancia entre estructuras (m):	186.57
Distancia acumulada (m):	1407.05
Distrito:	POMACOCHA
Latitud:	-12°51'37.0"
Longitud:	-74°32'20.7"
Altura (msnm):	3365
Tensión:	MT
Cables telemáticos:	0
Cables eléctricos:	1
Estructura:	SIMPLE
UTM X:	550010
UTM Y:	8578271
Amortiguadores:	2
Material:	MADERA



Figura 1. CARACTERÍSTICAS Y FOTOGRAFÍA DE LA ESTRUCTURA: POSTE 8, DE MT



Figura 2. MAPA SATELITAL CON EL RECORRIDO DE 2.81Km DE CABLE ADSS MEDIANTE LOS POSTES DE MT (EN AZUL) Y POSTES NUEVOS (EN AMARILLO)

El diseño inicia con la recopilación en campo de información de los postes, incluyendo su georreferenciación con GPS. Esta información se carga en el software Basecamp [5] y se genera la ruta del tendido del cable óptico en un archivo KML que puede visualizarse en Google Earth (ver Fig. 2). Luego, en Excel se elaboró los requerimientos de ferretería, así como, también, se definió el metrado del cable óptico entre postes: flecha, span, tipo de cable según span y flecha, entre otros. Los criterios seguidos para el diseño son los indicados en las tablas 1 a 5 [6]. En la Tab. 1, se indica el span máximo permitido del cable óptico, se seleccionan de acuerdo a la separación existente entre postes. El cable óptico se sujeta a los postes eléctricos mediante accesorios de ferretería; entre ellos están los herrajes de suspensión y los de retención. Existen diversos tipos de acuerdo al poste (nuevo o existente) y al vano del cable óptico. Según el vano se designan según la Tab. 2. En la Fig. 3 se muestran los herrajes de suspensión y retención para postes nuevos.

Tabla 1. SELECCIÓN DEL CABLE OPTICO SEGÚN SPAN

Rango de vano (m)	**Span máximo del cable ADSS (m)**
<= 200	200
200 a 300	300
300 a 400	400
400 a 600	600
>600	1000

Tabla 2. SELECCIÓN DE HERRAJES SEGÚN VANO

Herraje de suspensión	Herraje de retención	Vano máximo
S1	R1	Hasta 110m
S2	R2	100 a 220m
S3	R3	200 a 330m
S4	R4	300 a 440m
S5	R5	400 a 660m
S6	R6	600 a 1000m

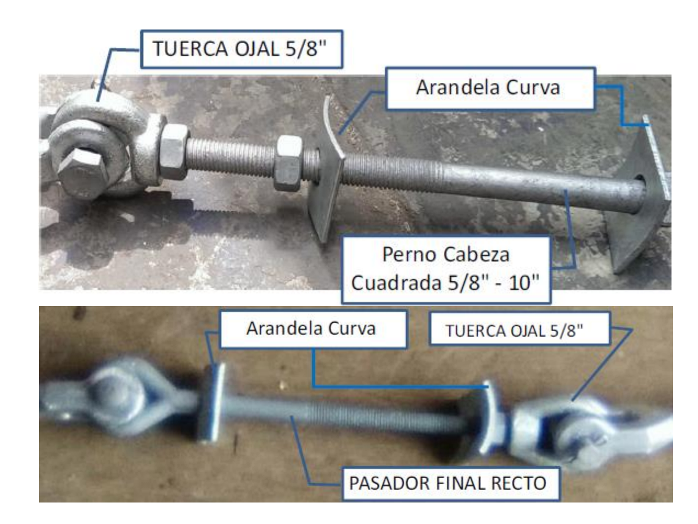


Figura 3. FERRETERIAS DE SUSPENSION (SUPERIOR) Y RETENCION (INFERIOR) PARA POSTES NUEVOS

Las longitudes recomendadas de reserva de cable ADSS a lo largo del tendido dependen de si la zona es urbana o no y si está próximo a un nodo de inicio o fin o a una caja de empalmes. En la Tab. 2 se dan los detalles para determinar las longitudes de reserva de cable. Para el caso actual, se requiere solo un empalme dado que la zona es rural. Las distancias mínimas entre líneas eléctricas y cables ópticos se detallan en la Tab. 3. La selección de flecha máxima del cable óptico se da en porcentaje respecto a la longitud de los vanos, se indican en la Tab. 4. Los cables ópticos, con tendido aéreo entre postes, tienden a moverse u oscilar por la fuerza del viento que, sumado a las dilataciones y compresiones por temperatura, pueden afectar la propagación de la señal óptica a través del cable (fenómeno denominado dispersión por modo de polarización) [7]. Para ello, se instalan amortiguadores para mitigar las oscilaciones del cable. En la Tab. 5 se indican la cantidad de amortiguadores requeridos según la distancia entre postes.

Tabla 3. LONGITUDES RECOMENDADAS DE RESERVA DE CABLE ÓPTICO

Caso	Reserva (m)
Zona urbana, cada 500m	40
Zona rural, cada 1000 a 1500m	40
Inicio de ruta	40
Fin de ruta	40
Caja de empalme	40

Tabla 4. DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE CABLES ELECTRICOS Y CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Caso o tensión de suministro	Distancia de seguridad vertical
Conductor, ferretería y soporte del equipo, cable mensajero y soporte puestos a tierra	0.60m
Hasta 23 KV	1.80m
Más de 23 KV	1.8m más 0.01m por KV (sobre 23 KV)

Tabla 5. FLECHA MAXIMA DEL CABLE OPTICO

Máxima flecha (% de longitud del cable óptico)	Vano permitido
1%	0 a 400m
2%	401 a 800m
3%	801 a 1000m
5%	> 1000m

La profundidad de empotramiento del poste está dada por la Ec. (1).

$$E = 0.1L + 0.6\ (m) \tag{1}$$

Donde:
L: Longitud del poste
E: Profundidad de penetración

Finalmente, en la Tab. 6, se presentan los herrajes requeridos según diversos casos a lo largo del tendido.

Tabla 6. TIPOS DE HERRAJES A INSTALAR EN EL TENDIDO DEL CABLE ADSS

Caso	Herrajes requeridos
Vano uniforme	Tres herrajes de suspensión seguido de uno de retención
Desviación de ruta, mayor a 20°	Retención
Inicio de ruta	Retención
Final de ruta	Retención
Tipo de vano y/o ángulo	Herraje de suspensión: S1, S2, S3, S4, S5, S6
Tipo de vano	Retención: R1, R2, R3, R4, R5, R6
Caja de empalme	Retención
Postes adyacentes	Retención
Amortiguadores	2, 4, 6 u 8 (de acuerdo con recomendaciones)
Postes	Riostras o riendas (según sean necesarios)
Desviación de ruta	Mensajero (en caso sea necesario)

Con la información de campo y los estándares de tendido de cable ADSS, se elaboró los requerimientos, especificaciones y metrado a emplearse en el tendido del cable ADSS entre las localidades de Choclococha y Pomacocha empleando los postes de MT de 5KV. Estas se presentan en las tablas 7 y 8. En la Tab. 7 se numeran los 23 postes, la distancia entre ellos, la flecha del cable ADSS, el vano, el tipo de fibra según vano y la altura del poste. En la Tab. 8 se muestran los requerimientos calculados en cuanto a reserva de cable (en el poste 10), cantidad y tipo de empalmes (un solo empalme recto en el poste 10), cantidad y tipo de herrajes de suspensión, retención y soporte; también, la cantidad y ubicación de amortiguadores.

Tabla 7. ESPECIFICACIONES PARA EL TENDIDO DEL CABLE ADSS ENTRE POSTES

ITEM	Estructura y nivel de tensión	Distancia entre Elementos	Flecha	Span	ID de la bobina de fibra óptica	Altura de estructura (m)
NODO Choclococha	NODO	50.00	0.30	300	306-300 HNC	0
1	POSTE	93.29	1.90	300	306-300 HNC	12
2	POSTE	79.21	0.40	300	306-300 HNC	12
3	POSTE	123.30	1.24	300	306-300 HNC	12
4	POSTE 5 KV	64.24	0.50	300	306-300 HNC	11
5	POSTE 5KV	312.89	4.69	300	306-300 HNC	11
6	POSTE 5KV	101.20	1.01	300	306-300 HNC	11
9	POSTE 5KV	211.36	2.64	300	306-300 HNC	11
10	POSTE 5KV	186.57	1.87	200	206-200 HNC	11
11	POSTE 5KV	100.23	1.00	200	206-200 HNC	11
12	POSTE 5KV	122.16	1.22	200	206-200 HNC	11
13	POSTE 5KV	61.59	0.31	200	206-200 HNC	11
14	POSTE 5KV	101.87	1.02	200	206-200 HNC	11
15	POSTE 5KV	127.76	1.28	200	206-200 HNC	11
16	POSTE 5KV	106.47	1.06	200	206-200 HNC	11
17	POSTE 5KV	162.70	1.63	200	206-200 HNC	11
18	POSTE 5KV	120.86	1.21	200	206-200 HNC	11
19	POSTE 5KV	103.66	1.04	200	206-200 HNC	11
20	POSTE 5KV	107.09	1.07	200	206-200 HNC	11
21	POSTE 5KV	123.56	1.24	200	206-200 HNC	11
22	POSTE 5KV	100.34	1.00	200	206-200 HNC	11
21	POSTE 5KV	52.51	0.26	200	206-200 HNC	11
22	POSTE	40.82	0.44	200	206-200 HNC	12
23	POSTE	62.49	0.48	200	206-200 HNC	12
NODO Pomacocha	NODO	50.35	0.49	200	206-200 HNC	0

Tabla 8. ESPECIFICACIONES DE LA FERRETERIA A SER EMPLEADA PARA EL TENDIDO DEL CABLE ADSS

ITEM	Reserva (m)	Empalmes	Herrajes de retención	Herrajes de suspen-sión	Herrajes de soporte	Amorti-guador
NODO Choclo-cocha	0	0	NODO		NODO	0
1				S2	SS	0
2			R2		SR	0
3				S2	SS	0
4				S2	SS	0
5				S3	SS	4
6				S3	SS	2
9				S3	SS	4
10	50	RECTO	R3		SR	2
11				S2	SS	2
12				S2	SS	2
13				S2	SS	0
14				S2	SS	2
15				S2	SS	2
16			R2		SR	2
17				S2	SS	2
18				S2	SS	2
19				S2	SS	2
20				S2	SS	2
21			R2		SR	2
22				S2	SS	2
21			R2		SR	0
22			R1		SR	0
23				S1	SS	0
NODO Poma-cocha	0	0	0	0	0	0

2) Presupuesto óptico de potencia. Se desarrolló un software interactivo (Fig. 4), empleando Matlab y su entorno GUIDE de programación gráfica, para la simulación y cálculo del presupuesto de potencia del enlace óptico, monomodo, entre los nodos de Pomacocha y Choclococha. Para el cálculo y determinación del presupuesto de potencia se tomaron en cuenta las siguientes variables y parámetros de entrada [8-9].

- Cantidad y pérdida por par de conectores
Se consideran solo dos pares de conectores (un par en cada extremo del cable) dado que se trata de un enlace punto a punto. De acuerdo con el estándar IEC 61300-3-7, se toma 0.5dB como pérdida máxima por par de conectores.

- Cantidad y pérdidas de empalmes de fusión
El tramo entre ambos nodos consta de tres empalmes. Dos en los extremos (cable ADSS fusionado con pigtails) y uno en el poste 10, empalme recto. La pérdida máxima por empalme, de acuerdo con el estándar IEC 61300-3-7 es de 0.1dB.

- Longitud de tendido de cable de fibra óptica
La longitud del tramo entre ambos nodos es de 2816 metros.

- Longitud de onda de trabajo
La fibra óptica trabaja con una onda de 1550nm, es la longitud empleada para tramos troncales de gran alcance debido a sus bajas pérdidas.

- Pérdidas por kilómetro de fibra óptica a 1550nm
De acuerdo con el estándar IEC60793-2-50, las pérdidas por kilómetro deben ser como máximo 0.25dB/km.

- Potencias mínima y máxima del transmisor
Esta información es obtenida de los transceivers a los cuales se conectan los dos hilos (transmisor y receptor) que conforman el enlace entre los dos nodos. La potencia de salida del transmisor es de 2dB. Sin embargo, puede variar entre -4.7 y 4dBm. Para las simulaciones con el aplicativo se consideran los valores extremos.

- Sensibilidad y potencia máxima del receptor
Estos valores se obtienen, también, de las características técnicas del transceiver. El receptor trabaja con una potencia promedio de -5.81dB. Sin embargo, puede recibir entre -1 y -15.8dBm. Este último valor viene a ser su sensibilidad o potencia mínima que puede recibir e interpretar correctamente.

- Penalización total de potencia
Consta de dos partes. La primera es la penalización de potencia, lo da el fabricante del equipo, típicamente es 2dB. La segunda es el margen de reparación, típicamente se consideran dos empalmes de 0.3dB cada uno; da un total de 0.6dB. La suma de los resultados previos viene a ser la penalización total de potencia (2.6dB).

Las variables de salida son las siguientes (a 1550nm):

- Atenuación total del sistema de cableado
Viene a ser la suma de pérdidas debidas a los conectores, empalmes y la propia fibra.

- Dos conectores, las pérdidas máximas son de 0.5dB x 2 = 1dB
- Tres empalmes, las pérdidas máximas son de 0.1dB x 3 = 0.3dB
- 2816 metros de fibra óptica, las pérdidas máximas son de 0.25dB x 2.816km = 0.704dB

Luego, la atenuación total del sistema de cableado es: (1 + 0.3 + 0.704) dB = 2.004dB

- Ganancia del sistema
Es la diferencia entre la potencia del transmisor y la sensibilidad o mínima potencia de recepción. Se consideran dos situaciones:

- Con potencia máxima de transmisión
  Ganancia del sistema = 4dBm – (–15.8dBm) = 19.8dB
- Con potencia mínima de transmisión
  Ganancia del sistema = –4.7dBm – (–15.8dBm) = 11.1dB

- Presupuesto total de pérdida por enlace
Se calcula como la diferencia entre la ganancia del sistema y la penalización total de potencia. Igualmente se presentan dos casos extremos según la potencia del transmisor.

- Con potencia máxima de transmisión
  Presupuesto total de pérdida por enlace = 19.8dB – 2.6dB = 17.2dB
- Con potencia mínima de transmisión
  Presupuesto total de pérdida por enlace = 11.1dB – (2.6dB) = 8.5dB

- Margen de desempeño del sistema
Se calcula como la diferencia entre el presupuesto total de pérdida por enlace y la atenuación total del sistema de cableado. De acuerdo con la potencia del transmisor, tenemos dos casos extremos:

- Con potencia máxima de transmisión
  Margen de desempeño del sistema = 17.2dB – 2.004dB = 15.196dB
- Con potencia mínima de transmisión
  Margen de desempeño del sistema = 8.5dB – (2.004dB) = 6.496dB

El presupuesto óptico de potencia se calculó para los dos escenarios extremos:

a) Transmisor al máximo de potencia, se obtiene una señal de 2.196dBm en el lado receptor.
b) Transmisor al mínimo de potencia, se obtiene una señal de -6.503Bm en el lado receptor.

El primer resultado (2.196dBm) supera al máximo permitido por el receptor (-1dBm). Por ello, la potencia máxima de transmisión debe reducirse para evitar saturación o daño del receptor. El máximo de potencia transmitida debe ser de 0.804dBm, valor con el cual se consigue una potencia de recepción de -1dBm que es, justamente, el valor límite permitido por el receptor. El segundo resultado (-6.503dBm) está por encima del mínimo reconocible (-15.8dBm) por el receptor.

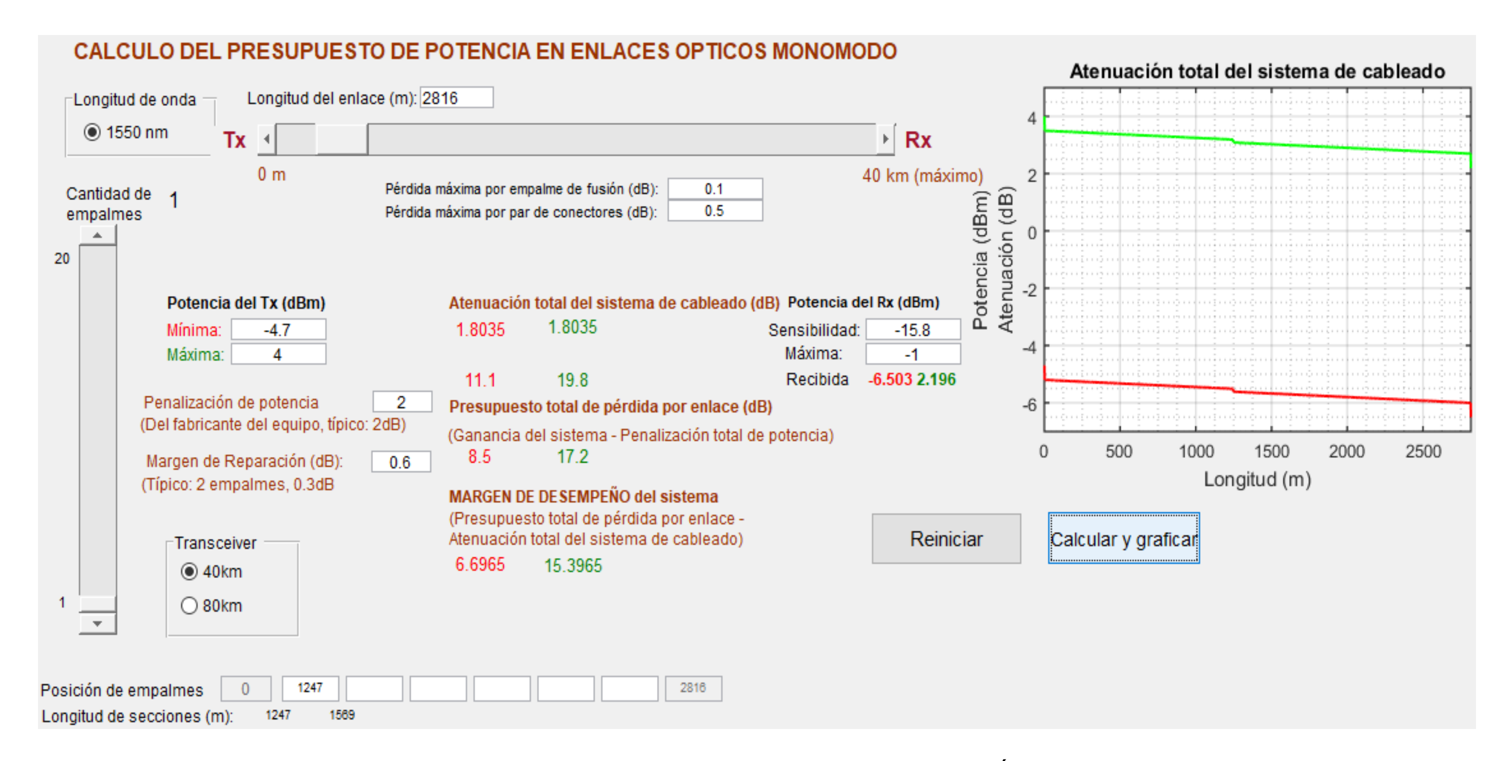


Figura 4. PRESUPUESTO DE POTENCIA CALCULADO MEDIANTE APLICACIÓN DESARROLLADA EN MATLAB

B. Red de acceso

La Red de Acceso consta de enlaces radioeléctricos punto-multipunto, en la banda no licenciada de 5.8GHz, radiando desde el nodo en Choclococha hacia toda la localidad a su alrededor. Con esta tecnología se llegará a cada poblador e instituciones privadas y públicas, especialmente colegios, establecimientos de salud y comisarías, entre otras.

El diseño del sistema radiante se realizó mediante el software LINKPlanner de Cambium Network [10]. Igualmente, los diversos equipos y antenas son del mismo fabricante. El objetivo del diseño es modelar la cobertura inalámbrica en toda el área geográfica del poblado de Choclococha. Así mismo, el software recomienda y permite seleccionar los equipos y antenas más adecuados según la información ingresada; así como las potencias de radiación, alcance, ángulos de cobertura e inclinación, entre otros.

El proceso de diseño con LINKPlanner se inicia definiendo el nodo radioeléctrico (ver Fig. 5) mediante sus coordenadas geográficas y nombre. Luego, en ese nodo, se define un HUB, que viene a ser la concentración de uno o más Access Points que radiarán mediante antenas sectoriales (de 90° o 120° como máximo cada una) a toda la población de Choclococha. Paso seguido, se configuran los Access Points (Tab. 9), cuatro en total, con los cuales se logra cobertura al 100%. Cada Access Point cubre cierto sector del distrito, con cierto alcance, y constan de una antena sectorial PMP y un radio transmisor/receptor en banda libre de 5.8GHz (ver Fig. 7, izquierda). Todas las radios de los Access Points son del modelo PMP450i de Cambium Networks, 20MHz/canal y EIRP de 45dBm, están fabricados con carcaza metálica y cumplen con IP66 e IP67 para entornos adversos, soportan velocidades de datos de hasta 300Mbps con canales de hasta 40MHz. Estas radios disponen de interfaz 100/1000BaseT y trabajan con los protocolos IPv4, IPv6, UDP, TCP/IP, ICMP, HTTP y FTP. Soportan, también, diversos protocolos de gestión de red. Cada radio y antena permiten atender hasta 238 usuarios. Pueden trabajar con diversas modulaciones digitales (QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM). Las radios PMP 450i tiene latencias de orden de 3 a 5ms. Su alcance máximo es de 64km.

En la Figura 6 se muestran loa resultados de la simulación de cobertura realizada con el software LINKPlanner. El simulador se integra con Google Maps mostrando la cobertura sobre el mapa del poblado de Choclococha. El punto en color rojo es el nodo radioeléctrico en el cual están ubicados los cuatro Access Points y las antenas sectoriales.

Las radios de abonado se muestran en la Fig. 7, derecha, trabajan en la banda de 5.8GHz. Están fabricados en metal, cumplen con los estándares IP66 e IP67 para entornos adversos. Trabajan hasta 300Mbps por cada sector en canales de 40MHz. Soporta diversos anchos de canales (5, 7, 10, 15, 20, 30 y 40 MHz). Emplean protocolos IPv4, IPv6, UDP, TCP/IP, ICMP, Telnet, SNMP, HTTP, FTP y protocolos de administración diversos como SNMP. Respecto a la potencia, la ganancia de la antena es de 23dBi, la potencia de salida máxima de la radio es de 28dBm y la máxima EIRP es de 50dBm, con alcances de hasta 64km [11-12].

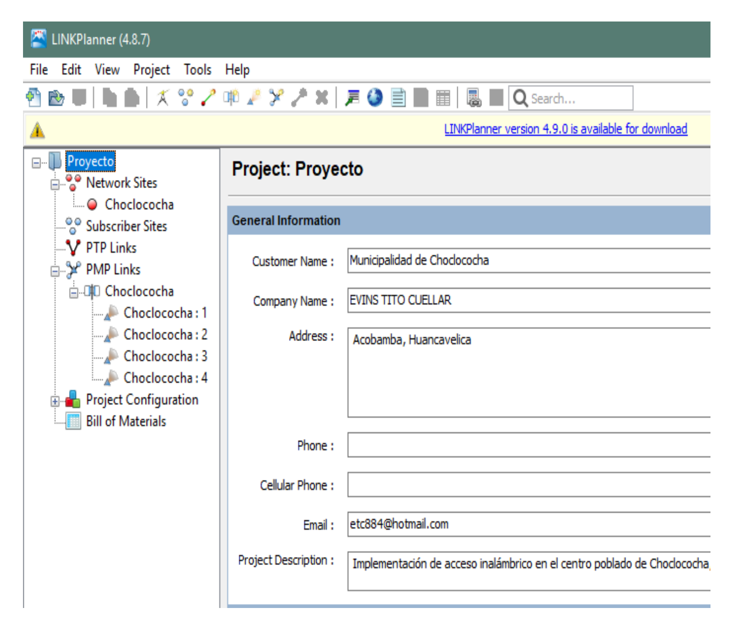


Figura 5 DEFINICIÓN DE UN HUB UBICADO EN EL NODO RADIOELÉCTRICO Y COMPUESTO DE CUATRO AP

Tabla 9. DEFINICIÓN DE LOS AP

Access Point Name	Product	Antenna Azimuth	Beamwidth	Band
Choclococha : 1	PMP450i	15.0°	90.0°	5.8 GHz
Choclococha : 2	PMP450i	90.0°	60.0°	5.8 GHz
Choclococha : 3	PMP450i	200.0°	120.0°	5.8 GHz
Choclococha : 4	PMP450i	300.0°	60.0°	5.8 GHz

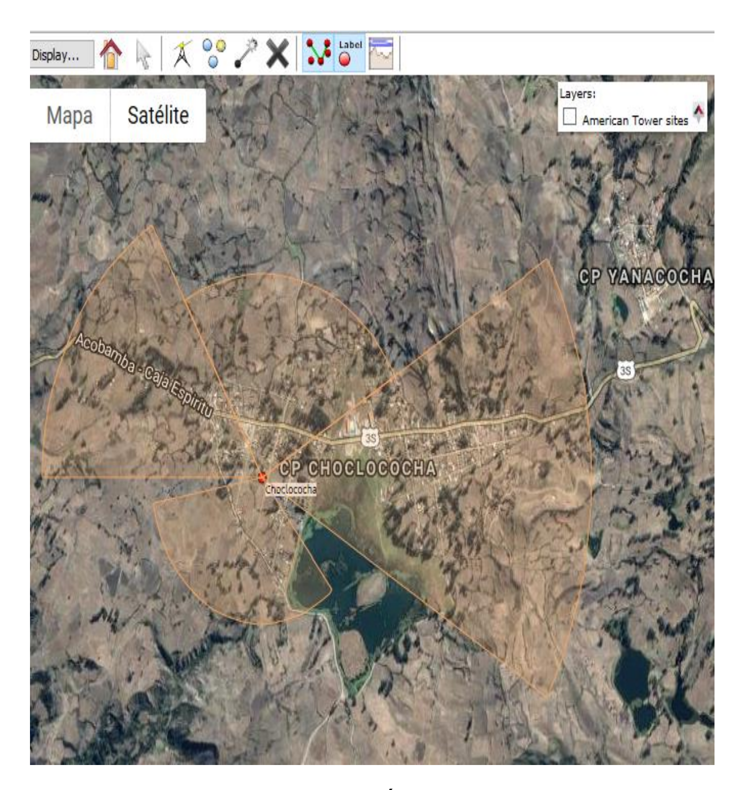


Figura 6. COBERTURA INALÁMBRICA EN EL CENTRO POBLADO DE CHOCLOCOCHA CON CUATRO ACCESS POINTS Y SUS RESPECTIVAS ANTENAS SECTORIALES



Figura 7. ACCESS POINT (IZQUIERDA) Y MODULO DE ABONADO (DERECHA)

IV. CONCLUSIONES

El diseño de una red, empleando fibra óptica como enlace troncal, y radios PMP como red de acceso de los abonados, brindan una solución viable a la carencia de sistemas de telecomunicaciones con calidad de servicio en el poblado de Choclococha, ubicada en la región de Huancavelica. Así, la calidad del servicio es garantizada al emplearse fibra óptica, de por si inmune a las interferencias; además, su operatividad se da cumpliendo con pruebas de caracterización del enlace y parámetros de calidad como el jitter, latencia, throughput y pérdidas de paquetes [13-16]. El uso de fibra óptica como red troncal supera completamente los problemas asociados al empleo de comunicación vía satélite, muy sensible a las condiciones ambientales. En tal sentido, prácticamente se descarta ese factor y se garantiza no solo la calidad, sino también la disponibilidad del servicio.

Las comunicaciones por fibra óptica se caracterizan por su elevado ancho de banda. Tal es así que se emplean para brindar diversos servicios de voz, datos y vídeo simultáneamente a los abonados y a velocidades mucho más elevadas que otras tecnologías. Así mismo, las redes ópticas al tener mayor ancho de banda permiten atender a mayor número de abonados. Comparado con los servicios satelitales, las redes ópticas ofrecen al abonado la ventaja de aumentar el ancho de banda fácilmente. Al soportar altas velocidades, las redes ópticas permiten que el usuario contrate o acceda a contenidos o servicios digitales que demanden, no solo mayor ancho de banda, sino también un equipamiento más potente y moderno. En tal sentido, el usuario puede contar con computadoras y otros medios, como laptops, tablets y smartphones, con los cuales acceder y beneficiarse del elevado ancho de banda de las redes ópticas. Esta característica va de la mano con el uso simultáneo de varios equipos a la vez sin pérdida de velocidad. Las redes ópticas también influyen en el aumento de la cobertura de acceso a Internet. Al disponer de mayor ancho de banda los servicios se pueden distribuir a mayor cantidad de usuarios o beneficiarios del centro poblado de Choclococha.

El costo del servicio de acceso a internet mediante fibra óptica se reduce considerablemente comparado con otras tecnologías como la satelital. Para los mismos anchos de banda, el costo del servicio basado en redes ópticas es considerablemente menor que con otras tecnologías. Las tarifas del servicio de acceso a Internet para hogares serán determinadas por el operador y estarán sujetas al régimen tarifario supervisado por el OSIPTEL.

La aplicación gráfica desarrollada, empleando Matlab, permitió el dimensionamiento y verificación del presupuesto óptico de potencia del enlace entre los nodos extremos. Mediante esta aplicación el diseñador puede comprobar el efecto de diversos parámetros o elementos que determinan el presupuesto de potencia tales como: potencias mínima y máxima del transmisor, potencia máxima permitida por el receptor, sensibilidad del receptor, longitud del tramo, cantidad de empalmes y conectores, longitud de onda y parámetros estipulados por los estándares o dados por los fabricantes.

Finalmente, el empleo de sistemas inalámbricos basados en antenas sectoriales punto multipunto con capacidad de atender a un elevado número de usuarios a la vez influye positivamente en el aumento de cobertura tanto de clientes como geográfica al disponer de ancho de banda, ancho de haz y alcance que cumplen los requerimientos actuales y futuros.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el presente proyecto sea presentado a la Municipalidad del centro poblado de Choclococha para la búsqueda o disposición de fuentes de financiamiento.

Si bien el empleo de las TIC se ha masificado en la actualidad, es necesario realizar actividades de sensibilización y capacitación a los pobladores del centro poblado de Choclococha, no solo para familiarizarlos e incentivarlos al uso de estas tecnologías, sino también para darle un uso provechoso y responsable que redunde en desarrollo de la persona y la colectividad en general.

Es necesario que un operador privado de telecomunicaciones se encargue de la prestación de los servicios de voz y datos digitales a ser brindados en el poblado de Choclococha. Como parte de sus actividades se debe incluir la difusión de estos servicios y la capacitación y contratación de personal local.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Huancavelica por su apoyo y aportes en el desarrollo del presente trabajo.

REFERENCIAS

[1] MTC Viceministerio de Comunicaciones, 2018. *Agenda Pendiente, Sector Comunicaciones.* Obtenido de http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2018/Transportes/files/forotelecomunicaciones/mtc_vmc_8nov_nakagawa.pdf

[2] INEI 2017. *Huancavelica. Compendio Estadístico 2017.* Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1494/libro.pdf

[3] GSMA, 2016. *Inclusión digital en América Latina y el Caribe.* Obtenido de Ministerio de Educación: http://disde.minedu.gob.pe/handle/123456789/4766?show=full

[4] ZTT, 2019. *Self Supporting Cable -ADSS.* Obtenido de http://zttcable.com/solution/show-218.html

[5] GARMIN, 2019. *BaseCamp.* Obtenido de https://www.garmin.com/es-ES/shop/downloads/basecamp

[6] Chomycz, B, 2000. *Fiber Optic. Installer's Field Manual.* New York: McGraw-Hill.

[7] ANRITSU, 2010. Dispersion in Optical Fibers.

[8] TIA/EIA, 2000. *Optical Fiber Cabling Components Standard (TIA/EIA-568-B.3).* En T. I. Association.

[9] NECA/FOA, 2016. *NECA/FOA 301-2016, Standard for Installing and Testing Fiber Optics*. Disponible en: https://www.thefoa.org/tech/ref/1pstandards/NECA301-16_P.pdf
[10] Cambium Networks, 2019. *LINKPlanner - Design Networks.* Obtenido de: https://www.cambiumnetworks.com/products/management/linkplanner/
[11] Cambium Networks, 2019. *PMP Products & Solutions.* Obtenido de: https://www.cambiumnetworks.com/products/pmp-distribution/
[12] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016. *https://www.itu.int/.* Obtenido de Propagación de las ondas radioeléctricas: https://www.itu.int/rec/R-REC-P/es
[13] EXFO, 2019. *FTB-735C - metro/PON FTTx/MDU OTDR.* Obtenido de https://www.exfo.com/es/productos/pruebas-de-redes-de-campo/otdr-y-iolm/ftb-735c/
[14] IEEE, 2009. *MetroEthernet.* Obtenido de http://www.ieee.org.ar/downloads/metroethernet.pdf
[15] JDSU, 2000. Reference Guide To Fiber Optic Testing - Second Edition. *1*.
[16] VIAVI, 2016. Key Test Practices that Minimize Optical Network Downtime.



Evins Cuellar Tito, nació en la provincia de Acobamba Departamento de Huancavelica en 1980, bachiller en Ingeniería Electrónica por la Universidad Nacional de Huancavelica, egresado actualmente de la Maestría en Ciencias de Ingeniería en mención de Gestión de tecnología de la información y comunicación (TIC) por la misma universidad.

Cuento con amplia experiencia en telecomunicaciones, he trabajado por más de 10 años en diversos proyectos en todo el Perú como Coordinador, supervisor y ejecutor de diversos contratos relacionados a redes de transporte con fibra óptica, redes de acceso, pruebas y mediciones de caracterización de enlaces ópticos, sistemas satelitales VSAT, telefonía móvil de distintos operadores entre otros. Los trabajos fueron realizados para clientes como GILAT PERU, AZTECA COMUNICACIONES, PRONATEL (ex FITEL), MINEDU, AENOR PERU, TECNOCOM PERU entre otros.